



УДК 550.348:550.834(265.5)

В.Л. Ломтев, Т.В. Нагорных, Д.А. Сафонов

К СТРОЕНИЮ И СЕЙСМОТЕКТОНИКЕ КУРИЛЬСКОЙ ДУГИ И ЖЕЛОБА

По данным нового регионального каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6,0$) кур ило-охотских и частично японских землетрясений за 1964–2009 гг., а также одно- (НСП) и многоканального (МОГТ) сейсмопрофилирования методом отраженных волн (МОВ) анализируются особенности строения и сейсмотектоники Курильской системы дуга-желоб и связанных с ними встречных сейсмофокальных зон Беньофа и Тараканова. Показано, что первая является глубинным надвигом, по которому Курильская дуга, или тектонический фронт Евразии, надвинута на ложе Пацифики на несколько десятков (до 50–70) километров за последние 0,5–1,0 млн лет (пасаденская глобальная фаза складчатости и орогенеза по Г. Штилле). При надвигании сформировались средняя и нижняя части тихоокеанского склона, шарьяж Пегаса и аккреционная призма (тектонопара), рамповая структура Курильского желоба и, вероятно встречные сейсмофокальные зоны.

Введение

Геология и геофизика Курильской системы дуга-желоб изучается около 100 лет [6, 20, 25, 26]. Основными вехами стали Международный геофизический год (1956–1957), когда ИФЗ АН СССР провел глубинное сейсмическое зондирование, определившее основные черты строения земной коры, и региональная геолого-геофизическая съемка НИС «Пегас» СахКНИИ, включавшая промер, НСП МОВ (непрерывное сейсмопрофилирование методом отраженных волн), драгирование, грави- и магнитометрию [4, 25, 26]. Позднее трест «Дальморнефтегеофизика» отработал несколько профилей МОВ-ОГТ – метод общей глубинной точки [7, 11, 25]. В итоге удалось наметить черты строения и истории развития внешней, невулканической (в настоящее время – Малая Курильская гряда и ее подводное продолжение хребет Витязя) и внутренней, вулканической дуг (Большая Курильская гряда), Курильского желоба. Вместе с тем не сняты расхождения во взглядах и трактовках геолого-геофизических данных, особенно после открытия на ложе СЗ Пацифики по результатам бурения и НСП ИМГиГ континентальных, прибрежных и шельфовых фаций позднего мезозоя – раннего кайнозоя и сменивших их позднекайнозойских глубоководных фанов (конусы выноса) каньонов Японо-Курило-Камчатской окраины на краевом вале Зенкевича (Хоккайдо) и Камчатского контурного мегафана мористее в котловине Тускарора [13, 14, 16].

Сейсмотектоника региона изучается продолжительное время и в основном сахалинскими сейсмологами (ИМГиГ и Сахалинский филиал Геофизической службы РАН) по материалам стационарных наблюдений на сейсмостанциях региона и мировой сети (эпи- и гипоцентрия, фокальные механизмы землетрясений, скоростные неоднородности в коре и верхней мантии, геостатистика), а также при полевом изучении сейсмодислокаций на островах [1, 3, 19, 23–25, 29]. Установлено, что основной вклад в региональную сейсмичность вносят встречные сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова, выходящие на внешней дуге и в желобе [24], а также мелкофокусная сейсмичность, вероятно, аллохтонной коры, особенно в молодых орогенных морфоструктурах и их активных разломах [15, 27, 31, 32]. Вместе с тем тектонические аспекты сейсмичности, строение и история развития рассматриваемого региона до сих пор дискутируются. Так, в теории фиксизма предполагают сбросовую или сбросо-оползневую структуру Курильского желоба [4, 5, 7, 27] как структуры растяжения и опускания. Такой подход



основан на прямой интерпретации временных разрезов НСП со сложным волновым полем и многочисленными помехами, что требует их минимизации или устранения и построения глубинных разрезов в реальном (1:1) масштабе. Однако он не объясняет формирование аккреционной призмы, регионального шарьяжа акустического фундамента и смежных поднятий вала Зенкевича и Курильской дуги высотой 5 и 10 км соответственно, изгиб системы дуга-желоб и курильской секции зоны Бенъофа в сторону океана. В тектонике плит на внешнем склоне Курильского желоба обычно предполагают растяжение и опускание блоков субдуцирующей Тихоокеанской плиты по системе нормальных сбросов, а на внутреннем склоне – оползни, сбросы, аккрецию кайнозойского чехла с чешуйчатыми надвигами западной вергентности (см. обзор в [11]) или, напротив, его субдукцию в депрессиях акустического фундамента [17, 30]. Таким образом, на склонах Курильского желоба предполагают разный стиль деформаций и тектонического строения. Не менее значительны расхождения по возрасту, или времени заложения, его и других тихоокеанских желобов, варьирующие от юры-мела до плейстоцена-голоцена (см. обзор в [9]).

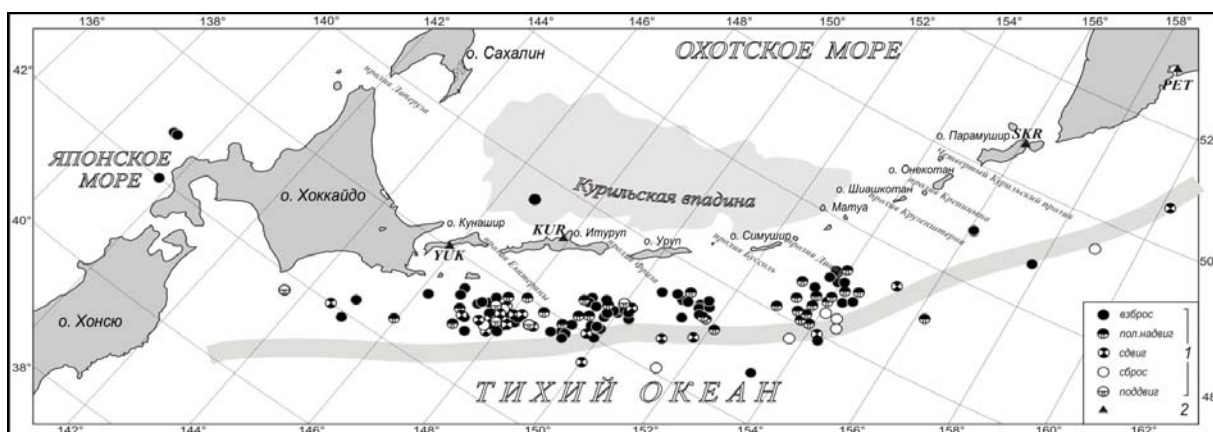
С учетом катастрофических Симуширских 2006–2007 гг. и Великого Японского землетрясений в марте 2011 г., вызвавших цунами высотой более 10–30 м [28, 29], акцент в статье сделан на строении и сеймотектонике зоны Бенъофа, крупнейшего глубинного разлома Земли [24]. В ее основу легли материалы нового каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6.0$) курило-охотских и частично япономорских землетрясений за 1964–2009 гг. (рисунки 1–7), подготовленного по современным международным стандартам [8], а также глубинные разрезы НСП и МОГТ, построенные способом апланатных поверхностей (оггибающих фронтов волн) в масштабе 1:1 с точностью положения отражающих площадок 50–100 м (рисунки 8–9).

Материалы каталога. На основе нового регионального каталога механизмов сильных землетрясений [8] рассмотрены связи между сейсмодислокациями и строением курильской секции зон Бенъофа и Тараканова, в пределах которой они проявляются путем статистической интерпретации результатов определения механизма очага, а также с помощью рассмотрения конкретных картин ориентировки напряжений и других характеристик очагов внутри зоны. Последнее позволит разделить сейсмодислокации по их значимости, что крайне необходимо для определения роли отдельных типов дислокаций в формировании структур зоны. В качестве методической основы решаемой задачи были приняты базовые алгоритмы программы «Механизм» [2]. В ней определяется не одно «наилучшее» решение, а вся совокупность решений, совместимых с наблюдаемыми данными (85-процентная доверительная область), что позволяет полнее охарактеризовать точность и степень неопределенности искомой модели в каждом конкретном случае. Данная программа прошла испытание в Курило-Охотском регионе в 1964–1999 гг. [8].

По данным каталога и рисунков 1–5 отмечается неравномерное распределение очагов землетрясений в плане и по глубине, где выделяются три группы очагов землетрясений на глубинах $H \leq 80$ км (65,1%), 81–300 км (22,6% от общего числа землетрясений) и 301–700 км (12,3%). Анализ распределения сейсмодислокаций показал (рисунок 6), что подавляющее большинство очагов сильных землетрясений ($M \geq 6.0$) Курило-Охотского региона находилось под воздействием напряжений сжатия, которое обусловило подвижки типа взброса (45% от общего количества данных), пологого надвига (20%) и сдвига (17%). 18% очагов землетрясений находились под воздействием напряжений растяжения, для которых характерны сбросы (7%) и поддвижки (11%). Для детального анализа распределения числа сейсмодислокаций на разных интервалах глубин

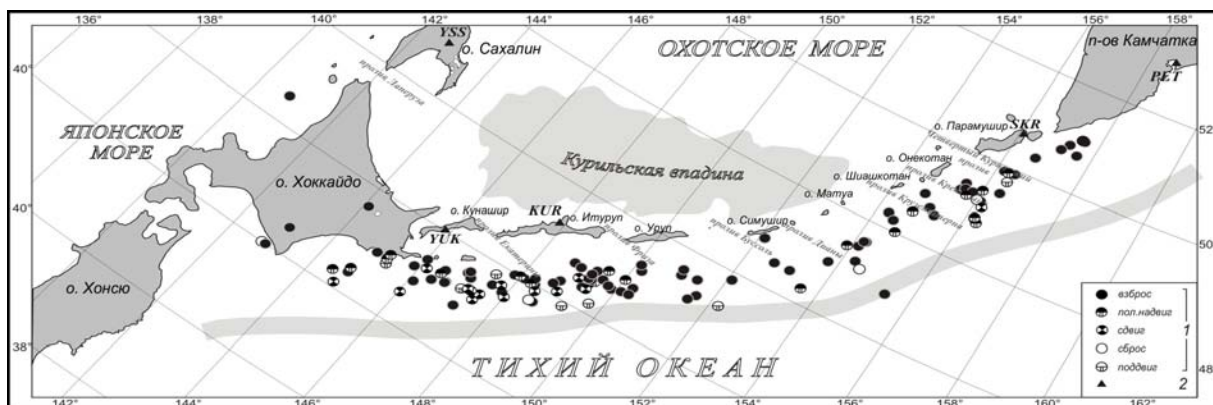


былі построены гистограммы (рысунк 6). Из них следует, что для глубин 0–40 км практически, как и для всего каталога механизмов землетрясений, преобладали взбросы – 48,9%, пологие надвиги – 23,3%, сдвиги – 16%, сбросы – 10%, а поддвигов на 50% меньше, чем для всего каталога. Для землетрясений на глубинах 41–80 км увеличилось число взбросов на 32%, а число остальных сейсмодислокаций уменьшилось на 25–41% (рысунк 6б).



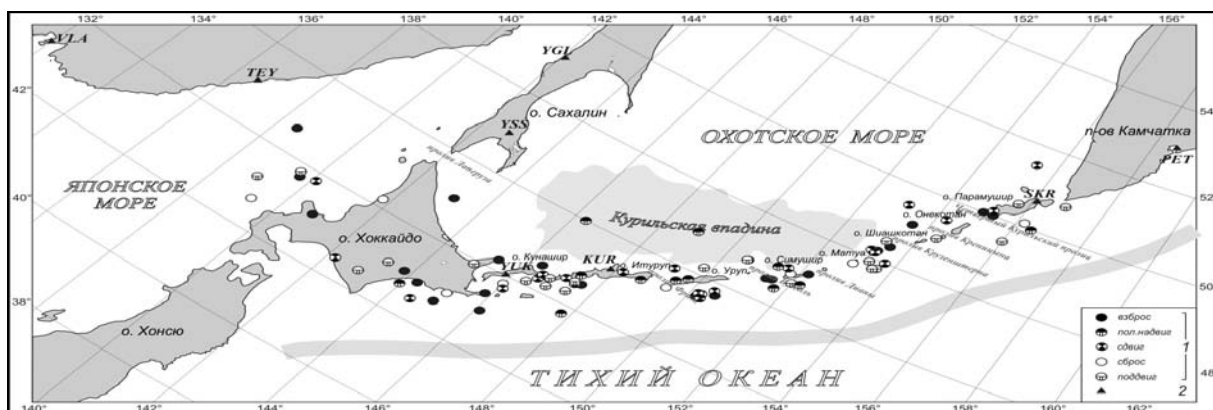
1 – типы, 2 – сейсмостанции

Рисунок 1 – Карта сейсмодислокаций на глубинах 0–40 км



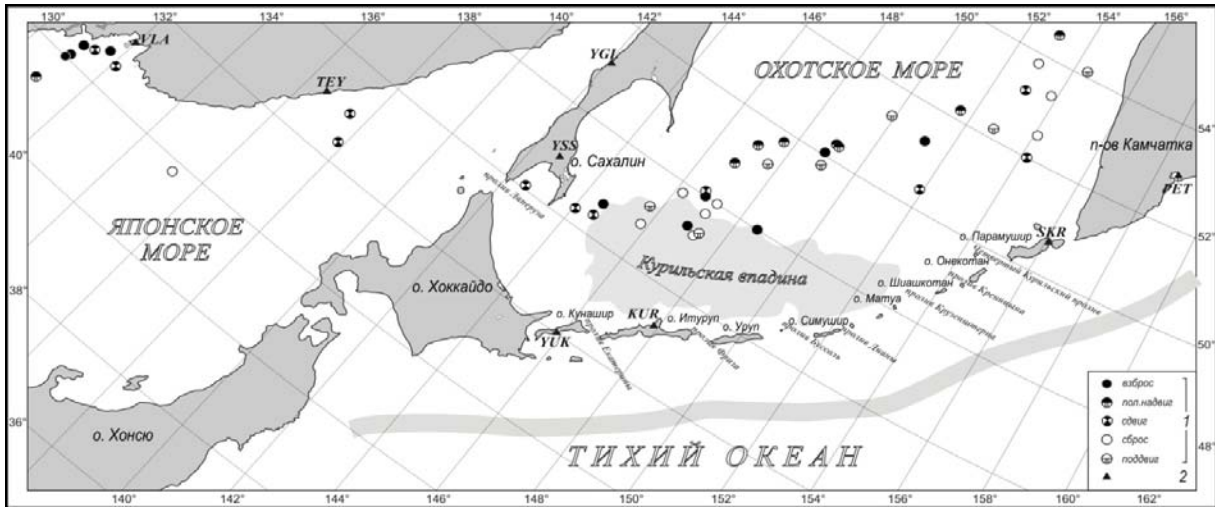
1 – типы, 2 – сейсмостанции

Рисунок 2 – Карта сейсмодислокаций на глубинах 41–80 км



1 – типы, 2 – сейсмостанции

Рисунок 3 – Карта сейсмодислокаций на глубинах 81–300 км



1 – типы, 2 – сейсмостанции

Рисунок 4 – Карта сейсмодислокаций на глубинах 301–700 км

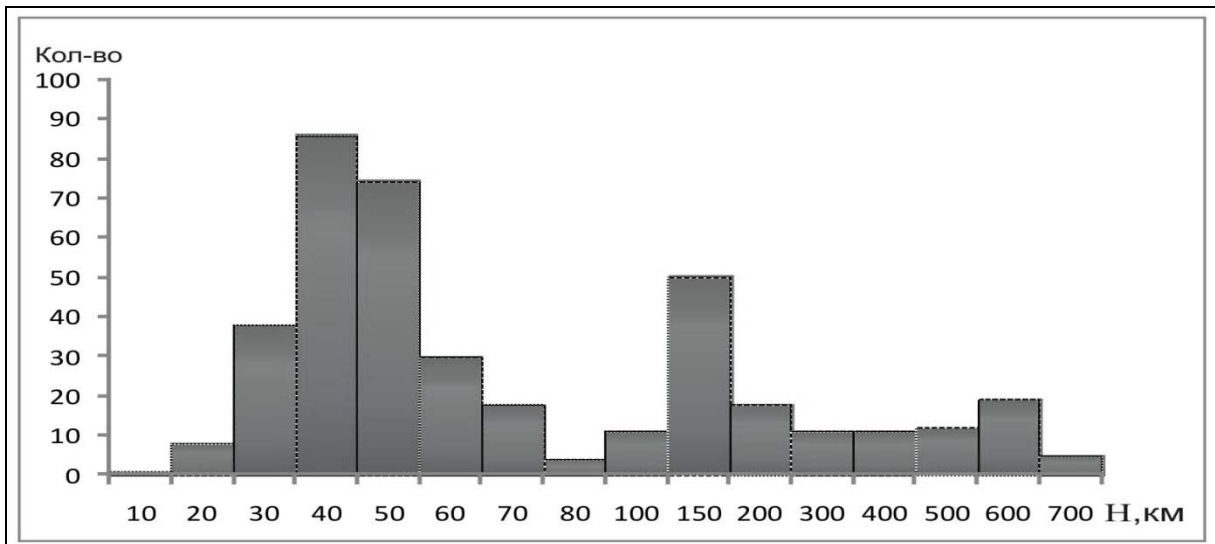


Рисунок 5 – Гистограмма распределения землетрясений по глубинам, км

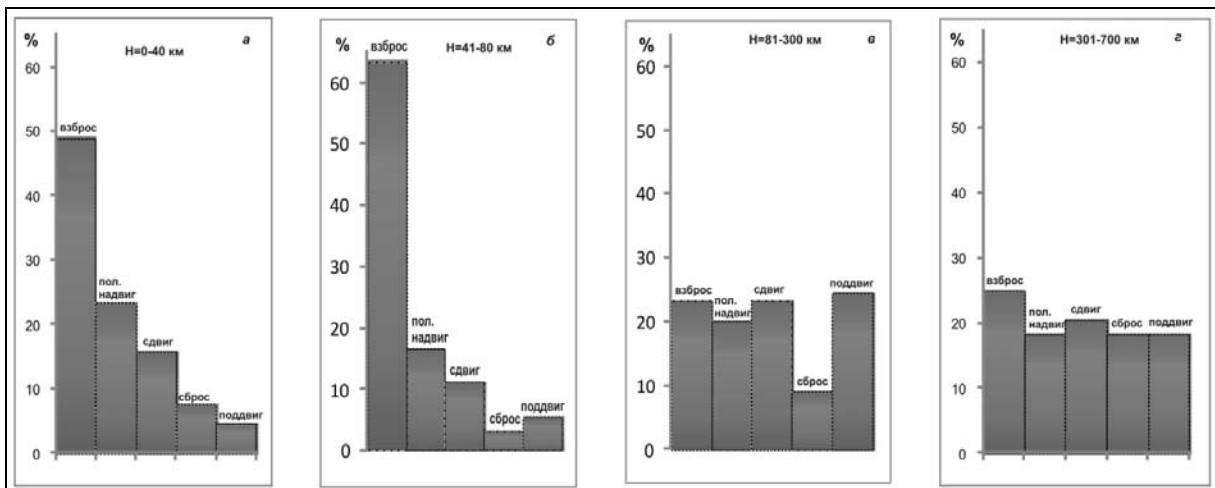
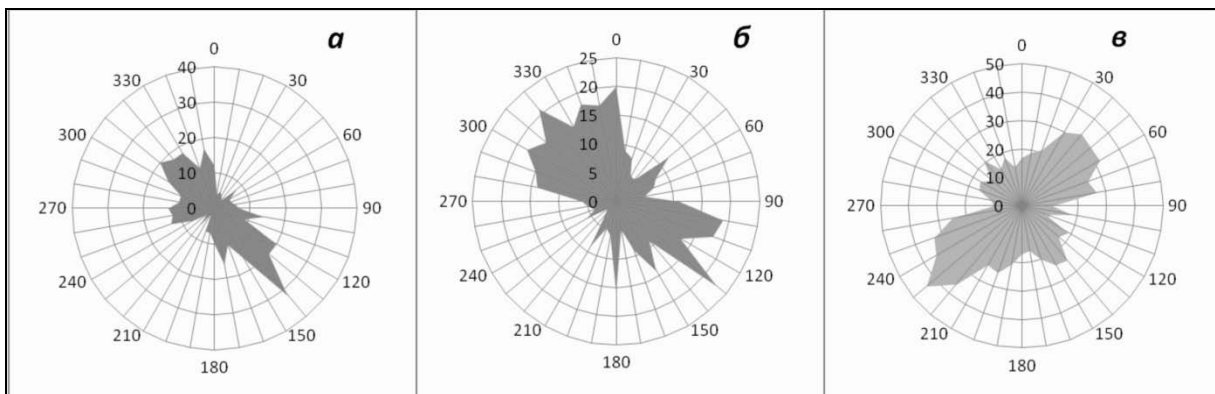


Рисунок 6 – Гистограмма распределения типов сейсмодислокаций по глубинам (а–z)



В дальнейшем с увеличением глубины очагов количество разных типов сейсмодислокаций стало уравниваться. Так, в интервале 81–300 км взбросы составили 23,3%, пологие надвиги – 20%, сдвиги – 23,3%, поддвиги – 21,4%. Исключением являются сбросы – 8,9% (рисунок бв). Для глубин 301–700 км количество типов сейсмодислокаций колебалось от 18% до 23%. Несмотря на многообразие механизмов очагов изученных землетрясений, для них выявляются совершенно отчетливые общие свойства. Для выявления последних нами был применен наиболее наглядный способ – способ построения векторных диаграмм частот повторения тех или иных пространственных параметров, характеризующих механизм очага, осредненный интервал принят в 10° .

На рисунке 7 приведены векторные диаграммы всех параметров механизма очагов изученных землетрясений. Горизонтальные проекции параметров механизма очага имеют два равнозначных направления, отличающихся по азимуту на 180° . Векторная диаграмма распределения осей напряжений сжатия по азимутам относительно направления на зенит имеет два отчетливых максимума (рисунок 7а). Один из них находится в интервале от 120° до 150° (или 300° – 330°). Для напряжений растяжения выявляются практически те же самые преимущественные направления, что и для напряжений сжатия, хотя общее распределение их по азимутам дает менее отчетливые максимумы: одно из них от 100° до 150° (или 280° – 360°) в противоположном направлении (рисунок 7б). Особо подчеркнем, что горизонтальная проекция напряжений сжатия ориентирована преимущественно под прямым углом к Курильской дуге и желобу. Этот результат отмечается и в работах Л.М. Балакиной [3].



а – напряжения сжатия; б – напряжения растяжения;
в – азимуты простирания нодальных плоскостей (NP1, NP2)

Рисунок 7 – Векторные диаграммы

На рисунке 7в видно, что азимуты простирания нодальных плоскостей имеют тоже два преимущественных направления. Один из них составляет от 220° до 260° относительно направления на север, и подавляющее большинство нодальных плоскостей ориентированы вдоль простирания Курильской дуги со средним углом падения $\sim 50^\circ$ к западу. Во втором возможном варианте плоскости разрыва ориентированы от 30° до 80° и также обнаруживают неплохую согласованность с простиранием островной дуги, но с падением к востоку, что не противоречит данным В.Н. Аверьяновой (1968). Менее отчетливый максимум отмечается в интервале от 120° до 150° и в противоположном направлении от 290° до 340° , но количество землетрясений в этом интервале намного меньше, чем в рассмотренном ранее.



Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 0–40 км. Мелкофокусные (коровые) землетрясения на рисунке 1 расположены между Курильскими островами и осью одноименного желоба, образуя несколько обособленных групп, в каждой из которых преобладает конкретный тип сейсмодислокаций. Несмотря на то, что большинство коровых землетрясений находились в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ортогональному простиранию Курильской дуги, основные типы сейсмодислокаций в этих группах разные. Первая группа довольно компактная (37 событий) расположена напротив пролива Екатерины. В ее очагах преобладали взбросы (40,5%) и сдвиги (32,5%). Вторая и третья компактные группы землетрясений произошли мористее островов Итуруп и Уруп ближе к оси Курильского желоба. В их очагах преобладали взбросы (67%) и пологие надвиги (20–27%). Четвертая группа гипоцентров расположена ближе к желобу мористее о. Симушир. В очагах преобладали пологие надвиги (50%) и взбросы (32%). В эту группу входят и недавние сильнейшие Симуширские события [28]. Первое из них является пологим надвигом, второе – сброс. Дополнительно можно выделить цепочку отдельных сейсмических событий вдоль о. Хоккайдо, где чередуются отдельные сейсмодислокации: поддвиг, сдвиг и два взброса. Вторая цепочка сейсмических событий оконтуривает ось желоба. В ней сейсмодислокации чередуются: для 50% случаев землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия, а для остальных – близгоризонтального растяжения.

Особо отметим зоны отсутствия сильных землетрясений с известными механизмами в земной коре на южном и особенно северном флангах Курильской системы дуга-желоб, возможно включая и Южную Камчатку, которые, по С.А. Федотову, могут намечать места возникновения будущих сильных землетрясений. Проведено сопоставление ориентации напряжений сжатия в очагах коровых землетрясений с простиранием Курильской дуги. Отмечено, что для первой и четвертой групп землетрясений преобладают напряжения сжатия, перпендикулярные дуге и близкие к горизонтальным. В остальных группах прослеживаются горизонтальные напряжения сжатия, ориентированные субмеридионально, хотя есть отдельные события субширотного направления.

Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 41–80 км. Гипоцентры этого интервала расположены между Большой Курильской грядой и осью Курильского желоба, образуя довольно широкую цепочку, которая прерывается к юго-востоку от Средних Курильских островов, переходя в небольшие группы или отдельные события (рисунок 2). В районе Северных Курильских островов количество землетрясений увеличилось, и группы стали более компактные, эпицентры группируются в районе проливов. В этом районе большинство землетрясений находились в условиях преобладания близгоризонтальных напряжений сжатия, ориентированных ортогонально простиранию Курильской дуги или субмеридионально (характерный тип подвижки: взброс – 63,9%, пологий надвиг – 16,7%, сдвиг – 11%). На юго-востоке этой зоны встречаются более крутые субмеридиональные и субширотные напряжения сжатия.

Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 81–300 км. Эта группа землетрясений произошла в промежуточном интервале глубин (22,6% от общего числа землетрясений) и представляет собой довольно узкую полосу событий непосредственно под Курильскими островами (рисунки 3, 5), разбиваясь на небольшие группы. В этом районе большинство землетрясений находились в условиях преобладания сжимающих напряжений, хотя и не столь существенно. Доминируют довольно крутые субмеридиональные и реже субширотные направления. Для осей растяжения характерны также крутые субмеридиональные и субширотные направления. В общем числе случаев напряжения сжа-



тия, перпендикулярные к структурам островной дуги и близкие к горизонтальным, представляют единичные события. Сейсмодислокации распределены по типам: сдвиги – 25%, взбросы – 24%, поддвиги – 25%, пологие надвиги – 16%, сбросы составляют только 10% от общего количества сейсмодислокаций в группе. Выделяется небольшая группа землетрясений между о. Хоккайдо и побережьем Приморья. Они произошли как в условиях растяжения (поддвиг – 32%, сброс – 17%), так и в условиях сжатия (взброс, пологий надвиг, сдвиг – по 17%), ориентированных диагонально Курильской дуге.

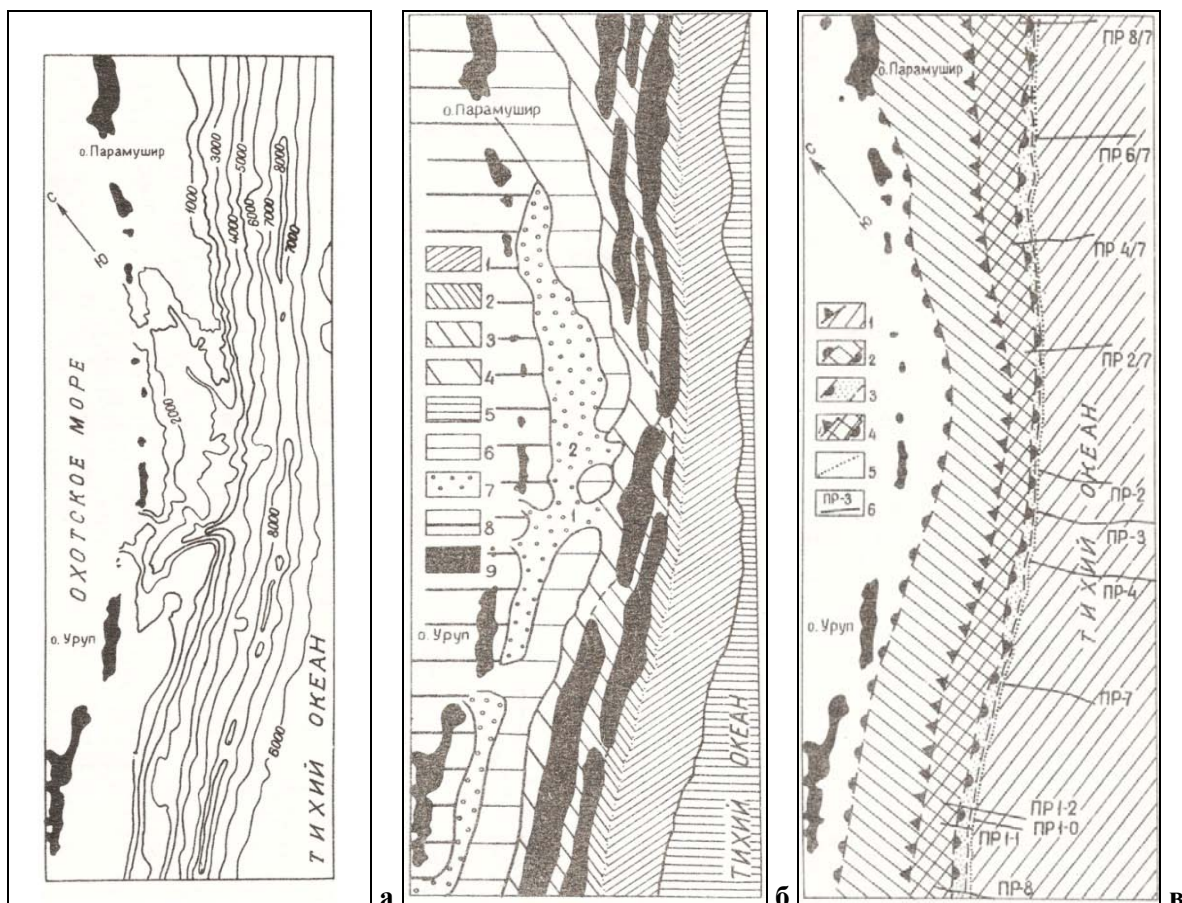
Основные типы сейсмодислокаций на глубинах 301–700 км. Эту группу составили глубокофокусные землетрясения (12,3% от общего числа землетрясений), которые протягиваются широкой полосой от западного побережья п-ва Камчатка до залива Петра Великого, образуя разобщенные группы (рисунки 4, 5). В каждой группе преобладают конкретные напряжения и типы сейсмодислокаций. Первая группа широкой полосой тянется вдоль п-ва Камчатка, где преобладали близгоризонтальные растягивающие напряжения, ориентированные субширотно. Распределение по типам сейсмодислокаций: сбросы – 25%, поддвиги – 25%, сдвиги – 25%, пологие надвиги – 17%, взбросы – 8%. Вторая группа эпицентров расположена севернее Курильской впадины. Основной тип сейсмодислокаций – пологий надвиг – 62%, взброс – 13%, поддвиг – 25%, преобладали довольно крутые напряжения сжатия, ориентированные ортогонально или субмеридионально островным структурам. Третья группа землетрясений расположена на северо-западе этой впадины. Они произошли в условиях преобладания близгоризонтальных растягивающих напряжений, ориентированных диагонально Курильской дуге. Основные сейсмодислокации: сбросы – 37%, взбросы – 28%, поддвиги – 21%, сдвиги – 14%. Четвертая группа землетрясений локализована в Японском море напротив сейсмостанции «Владивосток», основные типы сейсмодислокаций: взбросы – 57%, сдвиги – 29%. В данной группе преобладали близгоризонтальные напряжения сжатия, ориентированные субширотно.

Анализ каталога механизмов очагов 396 сильных землетрясений Курило-Охотского региона за 1964–2009 гг. показал, что большинство очагов землетрясений с глубиной $H \leq 80$ км находились в условиях преобладания близгоризонтальных сжимающих напряжений, ориентированных ортогонально Курильской системе дуга-желоб и крутой ориентацией осей растяжения. Характерный тип дислокации – взброс – 56,3%. Для землетрясений с глубиной очага $H > 81$ км данная закономерность механизмов очагов исчезает, а число гипоцентров резко сокращается, характерный тип дислокаций не прослеживается.

Тектоническое строение. В строении Курильской островной дуги выделяют внутреннюю, вулканическую и внешнюю, невулканическую (в настоящее время) дуги, которые разделяет междуговой Срединно-Курильский прогиб, а также широкую, тихоокеанскую и узкую, охотскую подводные континентальные окраины [6, 20, 27]. Первая выделяется за внешним краем тихоокеанского шельфа Малой Курильской гряды, вершинного аваншельфа ее подводного продолжения (хребты Южного и Северного Витязя) и глубокоководного бенча мористее о-ва Симушир, вторая – за бровкой охотоморских островных шельфов Большой Курильской гряды (рисунки 8, 9). В рельефе тихоокеанского склона по данным промера выделяют верхнюю, среднюю и нижние части склона. Первая и последняя представляют собой крутые (до $\sim 10^\circ$) уступы, разделенные средней, ступенчатой частью склона с крупными, верхней и нижней глубокоководными ступенями (террасами). Нижний уступ высотой 1–2 и шириной до 10–12 км одновременно является и внутренним склоном Курильского желоба, который некоторые авторы



раньше рассматривали в объеме всего тихоокеанского континентального склона. Внешний, пологий ($3-5^{\circ}$) склон желоба высотой 3–4 и шириной 40–50 км имеет характерное для желобов Пацифики ступенчатое, местами клавишно-ступенчатое строение. Он ограничивает с запада уплощенную вершину краевого вала и опирается на дно желоба шириной 5–15 км. Последнее на глубинных разрезах МОВ в масштабе 1:1 представляет собой долину глубиной 500 м со ступенчатыми (террасированными) бортами и уплощенным, аккумулятивным дном шириной 1–3 км на глубинах до 9550–9600 м, а с учетом изменения скорости звука с глубиной – до 9717 м [27].



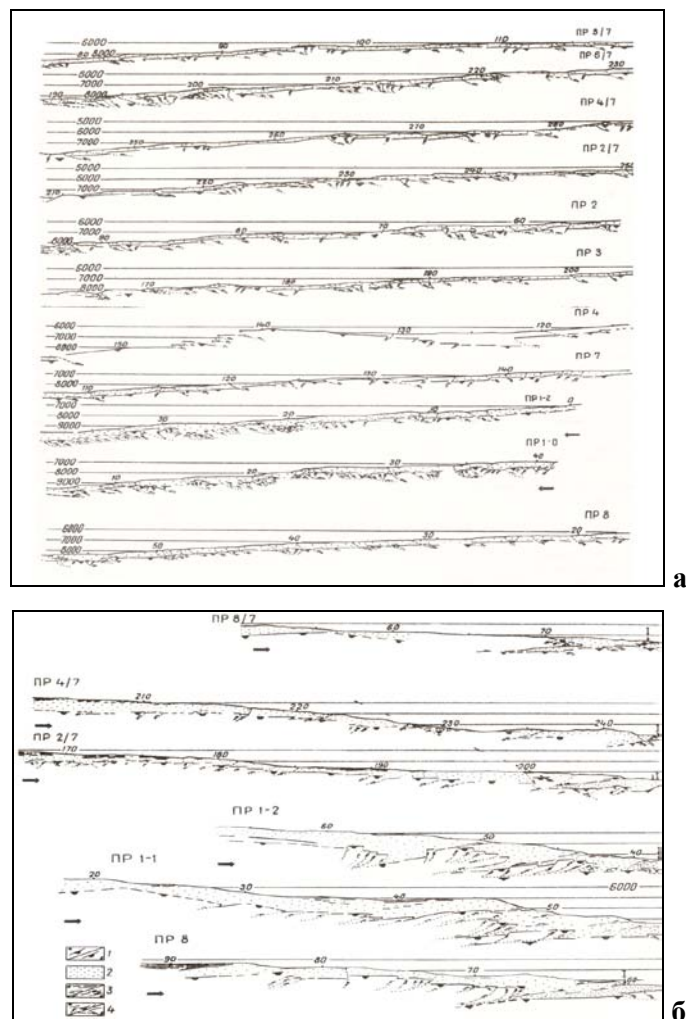
а – батикарта [27], сечение изобат через 1000 м; б – морфографическая схема: 1, 2 – внешний и внутренний склоны желоба соответственно, 3, 4 – средняя, ступенчатая и верхняя части тихоокеанского склона соответственно, 5 – вершина краевого вала, 6 – вершина внешней дуги, 7 – Срединно-Курильский прогиб, 8 – внутренняя, вулканическая дуга, 9 – ступени (террасы); цифры на схеме: 1 – каньон и грабен Буссоль, 2 – глубоководный бенч; в – структурная схема с положением глубинных разрезов МОВ (см. рисунок 9а–б): 1 – выступ акустического фундамента внешнего борта желоба (А), 2 – выступ акустического фундамента тихоокеанского склона (Б), 3 – аккреционная призма, 4 – региональный шарьяж Пегаса, 5 – тальвег Курильского желоба, 6 – профили НСП и МОГТ

Рисунок 8 – Курильская система дуга-желоб

При описании структуры тихоокеанского склона ключевыми элементами являются выступы акустического фундамента А и Б и аккреционная призма внутреннего склона желоба. Выступ А представляет собой пологонаклонную к Курильской дуге пе-



риферию СЗ плиты Пачифікі, пагребенную на тихоокеанском склоне под отложениями аккреционной призмы и шарьяжа Пегаса в средней части склона. Западный край выступа погружен на ~10-20 км под верхней глубоководной террасой, где предполагается по минимуму кондуктивного теплового потока и положению оси зоны Мейнеца (линейная отрицательная аномалия силы тяжести в желобах по Г. Штилле), очагам региональных цунами и данным сейсмологии по местоположению выхода зон Беньофа и Тараканова [24, 25]. На соседнем тихоокеанском склоне островной дуги Хонсю западный край выступа А погружен на значительную (10–20 км) глубину, погребен под шарьяжем Ойасио и аккреционной призмой и, вероятно, также обрезан верхней фокальной плоскостью зоны Беньофа [11, 31, 32].



1 – кровля акустического фундамента внешнего борта желоба и СЗ плиты Пачифікі (а) и тихоокеанского склона Курильской дуги (б); 2 – кайнозойский чехол тихоокеанского склона и аккреционная призма (разрежение точек), кайнозойский океанический чехол (сгущение точек); 3 – отражающие площадки в чехле; а – линзы турбидитов, б – сместители надвигов в аккреционной призме; 4 – разломы акустического фундамента установленные (а) и предполагаемые (б); цифрой I на разрезах обозначен фронт аккреции

Рисунок 9а–б – Интерпретированные глубинные разрезы по профилям НСП (ПР 8/7, 6/7, 4/7, 2/7, 2-4, 7, 8) и МОГТ (ПР 1-1, 1-0, 1-2)



При анализе глубинных разрезов на рисунке 9 обратим внимание на раздробленность выступа А, особенно на профилях МОГТ, возрастающую от бровки к основанию внешнего склона желоба. Ширина ступеней варьирует от первых десятков-сотен метров до первых десятков километров (сравни, например, профили МОГТ 1-1, 1-0 с профилями НСП 4, 4/7). При корреляции уступов в кровле акустического фундамента и рельефе дна в большинстве случаев надежно устанавливается наклон сместителей разломов к востоку под краевой вал согласно падению зоны Тараканова [11]. Считая их висячее крыло активным, заключаем, что большинство разломов внешнего склона являются надвигами и взбросами с горизонтальной и вертикальной амплитудами смещения до 0,5–1,5 км. В строении крупных ступеней отметим вергентность разломов: от пологих во фронте до крутых и субвертикальных обратного падения в тылу (складчатые надвиги по Г.Д. Ажгирею). Таким образом, на внешнем склоне Курильского желоба наблюдается скупивание коры с формированием мегадуплекса разломов сжатия преимущественно восточного падения, которое связано с позднекайнозойским гравитационным сползанием слоев 1–4 СЗ плиты [10]. По данным донных сейсмографов, оно сопровождается сейсмической активностью, местами значительной [27].

Выступ Б включает в себя внешнюю дугу, верхнюю и среднюю части ее тихоокеанского склона. Последнюю формирует выступ акустического фундамента посреди склона (по Д.Е. Каригу), и намечается выход верхней фокальной плоскости зоны Беньофа [11]. Профили НСП и МОГТ (ПР1-1, 1-2 на рисунке 9) освещают строение внешней части выступа шириной 20–40 км, где он состоит из нескольких клиновидных пластин, ограниченных пологими надвигами западного падения. Местами в их строении выделяются и более мелкие чешуи, например на ПР1-2 и 1-1. Видимое горизонтальное смещение пластин и чешуй к востоку невелико (3–8 км) в основном из-за недостаточной мощности излучения в сравнении с профилями МОГТ в [26] или в Японском желобе [7, 33]. С учетом изложенного выступ Б можно интерпретировать как региональный шарьяж (Пегаса) акустического фундамента с горизонтальным смещением к востоку на 30–40 км в центре и 50–70 км на флангах (рисунки 8б, 9). Поскольку в плане он маркирует выход верхней плоскости зоны Беньофа аналогично шарьяжу Ойасио на тихоокеанском склоне дуги Хонсю [32], то его можно считать структурным козырьком этой сейсмофокальной зоны, а ее саму – глубинным надвигом Евразии, что согласуется с классической трактовкой [21].

Внешний край выступа Б располагается вдоль нижней глубоководной террасы, за которой начинается внутренний борт Курильского желоба и его аккреционная призма (рисунки 8б, 9). Последняя на временных разрезах полупрозрачна, как и кайнозойский чехол, но насыщена дифракциями [27], связанными в основном с надвигами и складчатостью. Мощность призмы максимальна (1–2 км) у фронта шарьяжа, а к востоку (фронт аккреции) и западу (под шарьяжем) утоняется до 50–100 м и менее. На расстоянии 1–8 км от основания склона призма полого надвинута на кайнозойский океанический чехол, мощность которого под ней заметно сокращается к западу (ПР8, 2/7 и др. на рисунке 9а). Таким образом, аккреционная призма суть пакет тектонических чешуй кайнозойского чехла, сорванных шарьяжем Пегаса, что позволяет объединить их в покровную тектонопару «региональный шарьяж – аккреционная призма» (аллохтон). Последняя оказывает значительное литостатическое давление, определяющее асимметричное опускание автохтона и прилегающего ложа океана (внешний склон). Преимущественно встречное падение разломов сжатия на бортах Курильского желоба позволяет считать его рамповым грабеном, а с учетом широтной асимметрии – полу-



грабеном. Разрыв неоген-раннечетвертичной долинной сети каньонов и абиссальных каналов ложа и ряд других признаков указывают на заложение Курильского желоба в среднем плейстоцене ~0,5–1,0 млн лет назад, что, по Г. Штилле, соответствует началу пасаденской глобальной фазы складчатости и орогенеза [9, 13, 14]. Тот же возраст, вероятно, имеют средняя и нижняя части тихоокеанского склона Курильской дуги, покровная тектонопара «региональный шарьяж – аккреционная призма» и встречные сейсмофокальные зоны Беньофа и Тараканова.

Обсуждение результатов. При обсуждении материалов нового каталога фокальных механизмов сильных курило-охотских землетрясений и их связи с данными МОВ выделим факт распространения сейсмодислокаций сжатия (взбросы и пологие надвиги) по всей ширине курильского сегмента зоны Беньофа с доминированием на глубинах менее 80 км. С точки зрения классической тектоники это означает, что она является глубинным надвигом Евразии на ложе Пацифики. Этот вывод коррелирует с векторными диаграммами на рисунке 7, суммирующими ориентировку тектонических напряжений в коре и верхней мантии, ориентированных ортогонально простиранию Курильской системы дуга-желоб и ее изгибом в сторону океана. Вместе с тем определение типа сейсмодислокации по одной из двух нодальных плоскостей, падающих в сторону океана или континента, как и выбор активного крыла разломов в тектонике, пока остается на усмотрение исследователя. Независимо подтверждают факт надвигания Евразии данные МОВ на рисунке 9, в работе [26] и особенно в соседнем Японском желобе, в том числе во время последнего Великого цунамигенного землетрясения 11 марта 2011 г. [29].

Сейсмодислокации сжатия также указывают на обстановку сжатия, особенно в земной коре и подстилающей мантии, что подтверждают и данные МОВ (тектонопара «шарьяж – призма» и рамповая структура Курильского желоба). В этих условиях сейсмодислокации растяжения (сбросы и поддвиги), особенно на глубинах более 80 км, на первый взгляд труднообъяснимы. С нашей точки зрения они связаны с изгибом зоны глубинного надвига [25], при котором возникает относительное продольное растяжение в его подошвенной части и сжатие в кровельной. Между ними располагается асейсмичный слой, в котором эти деформации компенсируются (нейтральная плоскость в моделях изгиба). Подобная трактовка опирается на открытие двухслойной структуры японской зоны Беньофа по микроземлетрясениям и с сейсмодислокациям сжатия в верхней фокальной плоскости и растяжения в нижней [32]. Она позволяет более обоснованно подойти к пониманию дуплета сильных Симуширских цунамигенных землетрясений в 2006 и 2007 годах [28], связывая первое с верхней фокальной плоскостью зоны Беньофа (пологий надвиг к востоку), а второе – со сбросом в ее нижней плоскости.

Сдвиги в очагах сильных землетрясений курильской зоны Беньофа распространены почти равномерно (10–20%). В моделях надвига Евразии или поддвига Тихоокеанской плиты они не имеют сколько-нибудь ясной тектонической природы. Однако с точки зрения гравитационной тектоники, проявляющей себя, например, в коровых, моно- и дивергентных срывах на углах наклона деколлемента (поверхность скольжения) до $0,1^{\circ}$ [10, 15] или надвиге Евразии к востоку, важно обратить внимание на пологое восстание зоны Беньофа к Камчатке с 600–700 до 200–300 км [25, 27]. Оно позволяет предполагать сползание висячего крыла глубинного надвига к югу, с чем можно связывать формирование орогенной перемычки между Сахалином и Южными Курилами (горная система о. Хоккайдо), входящего структурного угла, образованного Курило-Камчатским и Идзу-Марианским глубинными надвигами [25, 31], небольшой системы



дуга-желоб Хонсю между ними и, возможно, тыловой Курильской (Южно-Охотской) впадины Охотского моря.

Отметим также бимодальный характер распределения исследованных 396 сильных событий по глубине с максимумами в интервалах 30–50 и 150–200 км (рисунок 5). Наиболее значительный из них располагается в области пересечения зон Беньофа и Тараканова, если ориентироваться на материалы по их геометрии на тихоокеанской окраине дуги Хонсю [25, 31]. Второй, менее значительный максимум сейсмичности приходится на зону магмогенерации под Большой Курильской грядой и ее охотской окраиной, предполагаемой многими авторами в кровле зоны Беньофа [18, 24, 26, 27].

Группирование и/или субпоперечные Курильской системе дуга-желоб цепочки сильных землетрясений на картах их эпицентров, например, в районе каньона и грабена Буссоль (рисунки 1–4, 8), вероятно намечают активные разломы и сегментацию висячего крыла глубинного надвига [6, 22, 27].

Особо выделим географию сильных коровых землетрясений в интервале глубин 0–40 км (рисунок 1), которая фиксирует зоны сейсмического затишья на флангах Курильской системы дуга-желоб как места будущих сильных событий (по С.А. Федотову). Ее северный фланг памятен катастрофическим цунамигенным Камчатским землетрясением 1952 года, разрушившим Северо-Курильск.

Выводы. Итак, в строении и сейсмотектонике Курильской дуги и желоба, судя по материалам нового каталога фокальных механизмов 396 сильных ($M \geq 6.0$) курило-охотских и частично японских землетрясений, ключевое значение имеет глубинный надвиг по сейсмофокальной зоне Беньофа. По данным НСП и МОГТ, его структурный козырек (шарьяж Пегаса во фронте Курильской дуги) надвинулся на ложе Пацифики на 30–70 км за последние 0,5–1,0 млн лет. Надвигание сопровождалось аккрецией кайнозойского чехла с образованием аккреционной призмы, средней и нижней частей тихоокеанского склона, значительным и асимметричным опусканием краевой части СЗ плиты под нагрузкой аллохтона (покровная тектонопара «региональный шарьяж – аккреционная призма»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова, В.Н. Глубинная сейсмоструктура островных дуг / В.Н. Аверьянова. – М. : Наука, 1968. – 219 с.
2. Аптекман, Ж.Я. Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ / Ж.Я. Аптекман [и др.] // Теория и анализ сейсмических наблюдений. – М. : Наука, 1979. – С. 45–58.
3. Балакина, Л.М. Курило-Камчатская сейсмогенная зона – строение и порядок генерации землетрясений / Л.М. Балакина // Физика Земли. – 1995. – № 12. – С. 48–57.
4. Васильев, Б.И. Геологическое строение юго-западной части Курильской системы дуга-желоб / Б.И. Васильев [и др.]. – М. : Наука, 1979. – 106 с.
5. Верба, М.Л. Отсутствие признаков субдукции в строении Курильского глубоководного желоба (по данным МОВ-ОГТ на опорном профиле 1-ОМ) / М.Л. Верба [и др.] // Современное состояние наук о Земле : материалы междунар. конф., посвящ. памяти В.Е. Хаина. – М. : Изд-во геол. фак. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. – С. 318–323.
6. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы / ред.: К.Ф. Сергеев, М.Л. Красный. – Л. : ВСЕГЕИ, 1987. – 36 л.



7. Гнибиденко, Г.С. Структура глубоководных желобов Тихого океана (по данным МОВ-ОГТ) / Г.С. Гнибиденко. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1987. – 50 с.
8. Каталог механизмов очагов сильных \geq (Мб.0) землетрясений Курило-Охотского региона 1964–2009 гг. – Владивосток : Дальнаука, 2011. – 130 с.
9. Ломтев, В.Л. Методы датирования глубоководных желобов / В.Л. Ломтев // Геология дна Тихого океана и зоны перехода к Азиатскому континенту. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – С. 105–111.
10. Ломтев, В.Л. К строению ложа Северо-Западной Пацифики / В.Л. Ломтев // Урал. геофиз. вестн. – 2010. – № 1(16). – С. 21–32.
11. Ломтев, В.Л. Структуры сжатия в Курильском и Японском желобах / В.Л. Ломтев, В.Н. Патрикеев. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. – 141 с.
12. Ломтев, В.Л. Сейсмические исследования ИМГиГ ДВО РАН в Северо-Западной Пацифике (1980–2005 гг.) / В.Л. Ломтев, В.Н. Патрикеев // Вестн. ДВО РАН. – 2006. – № 1. – С. 59–66.
13. Ломтев, В.Л. Сейсмостратиграфия кайнозойского осадочного чехла Северо-Западной плиты Тихого океана / В.Л. Ломтев [и др.] // Структура и вещественный состав осадочного чехла Северо-Запада Тихого океана. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 21–41.
14. Ломтев, В.Л. Пацифида, Тетис и Пацифика / В.Л. Ломтев [и др.] // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 131–144.
15. Ломтев, В.Л. Тектонические аспекты коровой сейсмичности Сахалина / В.Л. Ломтев [и др.] // Вестн. ДВО РАН. – 2007. – № 4. – С. 64–71.
16. Патрикеев, В.Н. Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана / В.Н. Патрикеев. – М. : ГЕОС, 2009. – 208 с.
17. Пишон, Ле. К. Тектоника плит / Ле К. Пишон [и др.]. – М. : Мир, 1977. – 288 с.
18. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. – М. : Наука, 1992. – 528 с.
19. Рудик, М.И. Каталог механизмов очагов сильных (Мб.0) землетрясений Курило-Охотского региона (1964–1982 гг.) / М.И. Рудик, Л.Н. Поплавская. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1987. – 211 с.
20. Сваричевский, А.С. Новые данные по геоморфологии южной Курильского глубоководного желоба / А.С. Сваричевский [и др.] // Структура осадочных отложений Курило-Камчатского желоба. – Южно-Сахалинск : СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 37–50.
21. Сергеев, К.Ф. Тектоника Курильской островной системы / К.Ф. Сергеев. – М. : Наука, 1976. – 240 с.
22. Сергеев, К.Ф. Поперечные глубинные разломы Курильской островной системы / К.Ф. Сергеев [и др.] // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 264, № 2. – С. 412–417.
23. Симбирева, И.Г. Неоднородность поля напряжений Курило-Камчатской дуги по сейсмическим данным / И.Г. Симбирева [и др.] // Геология и геофизика. – 1976. – № 1. – С. 70–85.
24. Тараканов, Р.З. Новый взгляд на природу сейсмофокальной зоны / Р.З. Тараканов // Геодинамика, геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Дальнего Востока России. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – С. 157–175.
25. Тараканов, Р.З. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизи-



ческих полей / Р.З. Тараканов [и др.] // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. – М. : Наука, 1977. – С. 67–77.

26. Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря. – Владивосток : ДВО РАН, 2004. – 160 с.

27. Тектоника Курило-Камчатского глубоководного желоба. – М. : Наука, 1980. – 179 с.

28. Тихонов, И.Н. Симуширские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 года и 13 января 2007 года / И.Н. Тихонов [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 1. – С. 3–17.

29. Тихонов, И.Н. Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г.: тектонические и сейсмологические аспекты / И.Н. Тихонов, В.Л. Ломтев // Геофизические процессы и биосфера. – 2011. – Т. 10, № 2. – С. 49–66.

30. Уэда, С. Окраины глубоководных желобов северо-западной части Тихого океана / С. Уэда // Геология континентальных окраин. – М. : Мир, 1978. – Т. 2. – С. 170–191.

31. Хамада, К. Аномалии времен пробега продольных сейсмических волн и строение верхней мантии в Японии / К. Хамада // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. – М. : Наука, 1977. – С. 40–55.

32. Хасегава, А. Двухслойная структура глубинной сейсмической зоны островной дуги Северо-Восточной Японии / А. Хасегава [и др.] // Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского регионов. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1978. – С. 68–75.

33. Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project. Vol. 56, 57. – Washington : U.S. Govern. Printing Office, 1980. – Pt. 1. – 629 p.

V.L. Lomtev, T.V. Nagornyh, D.A. Safonov. Peculiarities of the Structure and Seismotectonics of the Kuril Arc & Trench

Peculiarities of structure & seismotectonics of the Kuril arc-trench system and connected with them opposite seismofocal Benoff & Tarakanov zones analyse from the new regional catalogue of focal mechanisms of 396 strong ($M \geq 6,0$) Kuril-Okhotsk and partly Japan earthquakes by 1964-2009 years, and also single- (continuous seismic profiling) & multichannel (CDP) data of wave reflection method. It is showed, that the first is the deep thrust which Kuril arc thrusting at the Pacific abyssal floor by some tens (to 50-70) kilometers at last 0,5-1,0 mln years ago (Pasadenan global phase of folding and orogenesis by H. Stille). Middle and low of the Pacific slope, Pegas nappe and accretionary prism (tectonopiar), ramp structure of the Kuril trench and possibly opposite seismofocal zones are formed by thrusting.

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 18.09.2012